

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Patentschrift  
⑯ DE 44 20 962 C 2

⑯ Int. Cl. 6:  
H 01 L 21/308  
C 23 F 4/00  
H 01 L 21/3065

⑯ Aktenzeichen: P 44 20 962.2-33  
⑯ Anmeldetag: 16. 6. 94  
⑯ Offenlegungstag: 21. 12. 95  
⑯ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 17. 9. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑯ Erfinder:

Benz, Gerhard, Dr., 71032 Böblingen, DE; Muenzel, Horst, Dipl.-Phys. Dr., 72770 Reutlingen, DE; Laermer, Franz, Dr., 70437 Stuttgart, DE; Schilp, Andrea, 73525 Schwäbisch Gmünd, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

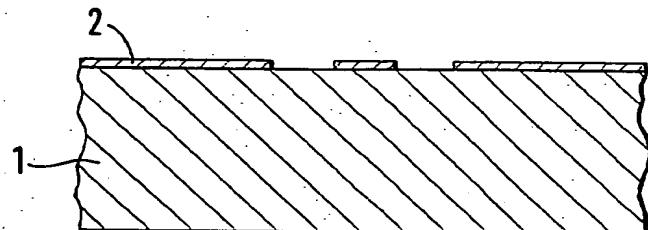
DE 39 27 163 A1  
US 47 84 720  
US 47 29 815  
EP 2 04 538 A2  
EP 2 00 951 A2

Trench Capacitor and Dry Etching Technique... In: IBM TDB, Vol. 34, No. 5, Oct. 1991, pp. 368-370;  
PARK, H.H. et.al.: Effects of post etch treatments on contaminated silicon surface due to CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> reactive ion etching. In: Surface

Chemical Cleaning and Passivation for Semiconductor Symposium. Higashi et.al. (Editors), Mat.Res. Soc. 1993, pp. 243-248;  
HIROBE, K. et.al.: Reduction of Radiation Damage. In: J.Electrochem.Soc.: Solid-State Science and Technology, Vol. 132, No. 4, April 1985, pp. 938-942;  
SHINDO, H. et.al.: Si Etching with Low Ion Energy... In: Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 30, No. 4, April 1991, pp. 881-885;

⑯ Verfahren zur Bearbeitung von Silizium

⑯ Verfahren zur Bearbeitung von Silizium, bei dem ein Siliziumsubstrat (1) mit einer Ätzmaskierung (2) versehen wird und in eine Plasmaätzanlage eingebracht und mit einem Plasma beaufschlagt wird, wobei durch Bearbeitung mit einem Ätzgas und einem Passiviergas ein Graben (3) mit einer Seitenwandpassivierung (4) erzeugt wird, wobei in einem weiteren Bearbeitungsschritt ausgehend vom Ätzgrund (5) des Grabens (3), eine Unterätzung (6) eingebracht wird, dadurch gekennzeichnet, daß der weitere Bearbeitungsschritt in derselben Ätanlage durch das Ätzgas erfolgt, daß für das Ätzgas ein Fluor lieferndes Gas ausgewählt wird, daß als Passiviergas ein Fluorkohlenstoff oder Fluorkohlenwasserstoff lieferndes Gas ausgewählt wird, das eine aus einem Fluorpolymer bestehende Seitenwandpassivierung bildet, und daß die Plasmaenergie geringer als 50 Elektronenvolt gewählt wird.



## Beschreibung

## Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Bearbeitung von Silizium nach der Gattung des unabhängigen Anspruchs 1. Aus der US 4 784 720 ist bereits ein Verfahren zur Bearbeitung von Silizium in einer Plasmaätzanlage bekannt, bei dem ein Ätzgas und ein Passiviergas verwendet werden. Durch Anwendung des Ätzgases und des Passiviergases wird ein Graben mit einer Seitenwandpassivierung geschaffen. Als Ätzgas wird ein Chlor- oder Bromlieferant verwendet. Da Chlor und Brom nur bei höheren Ionenenergien im Plasma eine nennenswerte Ätzung von Silizium bewirken, lassen sich mit diesen Ätzgasen nur stark anisotrope Ätzprofile realisieren. Aus der DE 39 27 163 A1 ist ein Verfahren zur Bearbeitung von Silizium bekannt, bei dem ein Ätzgraben mit einer Seitenwandpassivierung erzeugt wird. Durch isotropes Plasmaätzen kann dann ausgehend von den Bodenbereichen der Gräben eine Unterätzung von Strukturen erfolgen. Da als Seitenwandpassivierung ein Niedertemperaturoxid oder -nitrid vorgesehen ist, erfordert das Verfahren mehrere Bearbeitungsschritte in unterschiedlichen Ätzanlagen und Abscheideanlagen (Plasmaätzer, PECVD- oder LPCVD-Anlage).

In der IBM TDB Vol. 34, No. 5, Oct. 1991, S. 368-370, wird ein zweistufiges Ätzverfahren beschrieben, bei dem zunächst mittels eines Chlorplasmas ein Graben eingeätzt wird, dessen Seitenwände mit einer Passivierung aus Siliziumoxid bedeckt werden. In einem zweiten Ätzschritt erfolgt dann ausgehend vom Ätzgrund des Grabens eine Unterätzung in einem Fluorplasma.

Aus der EP 0 200 951 A2 ist ein Ätzprozeß bekannt, bei dem durch ein Fluor lieferndes Ätzgas ein Graben eingeätzt wird. Weiterhin wird ein Fluorkohlenstoff oder Fluorkohlenwasserstoff als Passiviergas verwendet.

Aus der US 4 729 815 ist ein Ätzprozeß bekannt, bei dem ein Graben durch ein Fluor lieferndes Ätzgas eingeätzt wird. Weiterhin wird ein Passivierungsgas mit einem Fluorkohlenwasserstoff verwendet. Die Ätzung erfolgt bei Plasmaenergien von > 200 Elektronenvolt.

## Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1 hat demgegenüber den Vorteil, daß in ein und derselben Ätzanlage sowohl ein Graben mit einer Seitenwandpassivierung erzeugt wird, wie auch eine isotrope Unterätzung der so gebildeten Strukturen erfolgen kann, ohne den Wafer zwischendurch aus der Anlage nehmen zu müssen. Es wird so ein besonders einfaches Verfahren angegeben, mit dem unterätzte Siliziumstrukturen erzeugt werden können. Durch ein Fluorplasma läßt sich Silizium besonders einfach und mit hohen Ätzraten bearbeiten. Durch fluorkohlenstoff- oder fluorkohlenwasserstoffhaltige Prozeßgase wird eine Seitenwandpassivierung aus einem chemisch besonders beständigen Fluorpolymer gebildet. Durch eine geringe Ionenenergie können einfache und dünne Ätzmaskierungen verwendet werden und trotzdem große Unterschiede in der Ätzrate von Siliziumsubstrat und Maskierungsstoff erzielt werden. Die gilt insbesondere bei hohen Plasmadichten und geringer Ionenenergie.

Durch die in den abhängigen Ansprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im unabhängigen Anspruch angegebenen Verfahrens möglich. Durch die Verstärkung der Seitenwandpassivierung wird die seitliche Ätzbeständigkeit der Silizium-

strukturen bei der nachfolgenden isotropen Unterätzung verbessert. Durch den alternierenden oder gleichzeitigen Einsatz von Ätz- und Passiviergas können tiefe und schmale Grabenstrukturen mit einer Seitenwandpassivierung gebildet werden.

## Zeichnungen

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren 10 dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen die

Fig. 1 ein Siliziumsubstrat mit einer Ätzmaskierung, Fig. 2 darin eingebrachte Ätzgräben mit Seitenwandpassivierung,

15 Fig. 3 die Unterätzung ausgehend vom Bodenbereich der Gräben und

Fig. 4 eine Plasmaätzanlage.

## Beschreibung der Erfindung

In der Fig. 1 ist ein Siliziumsubstrat 1 mit einer aufgebrachten Ätzmaskierung 2 gezeigt. Die Ätzmaskierung 2 bedeckt in vorgegebenen Bereichen die Oberfläche des Siliziumsubstrats nicht. In diesen Bereichen erfolgt in den weiteren Prozeßschritten ein Ätzangriff auf das Silizium. Als Materialien für die Ätzmaskierung 2 eignet sich beispielsweise eine dünne Schicht aus Fotolack oder Siliziumoxid. Das Siliziumsubstrat 1 wird zur weiteren Bearbeitung in eine Plasmaätzanlage eingebracht.

In der Fig. 2 wird das Siliziumsubstrat 1 nach einem ersten Plasmaätzschnitt gezeigt. In den Bereichen, die von der Ätzmaske 2 nicht bedeckt waren, sind Gräben 3 eingeätzt. Die Gräben 3 weisen dabei eine Seitenwandpassivierung 4 auf. Im Bereich des Bodens 5 sind die Gräben 3 nicht mit einer Passivierschicht 4 bedeckt, so daß dort das Silizium des Substrats 1 freiliegt. Das Einätzen der Gräben 3 erfolgt durch Anwendung eines Gases, welches Silizium isotrop ätzt und eines Gases, welches eine Passivierschicht bildet. Als isotrop ätzendes Gas wird ein Gas, welches Fluor liefert, beispielsweise  $SF_6$  oder  $NF_3$  verwendet. Als Passiviergas wird ein einen teflonartigen Fluorpolymerfilm bildendes Monomer, in der Regel ein Fluorkohlenstoff oder Fluorkohlenwasserstoff ( $CHF_3$ ,  $C_2F_6$ ,  $C_2F_4$ ,  $C_4F_8$ ) verwendet. Das Ätz- und Passiviergas kann gleichzeitig in der Plasmaätzanlage in einer geeigneten Mischung verwendet werden. Alternativ ist es möglich, alternierend eine Vielzahl von aufeinanderfolgenden Ätz- und Passivierschritten vorzunehmen.

Im Plasma können so bereits bei geringen Ionenenergien (wenige Elektronen Volt) unter der Voraussetzung einer hohen Plasmadichte perfekt anisotrop geätzte Gräben 3 von großer Tiefe (einige 10  $\mu m$ ) und geringer Breite (wenige  $\mu m$ ) erzielt werden. Aufgrund der geringen Ionenenergie ist der Abtrag der Ätzmaske 2 gering. Der Boden 5 der Gräben 3 bleibt infolge der Ioneneinwirkung frei und wird nicht mit dem teflonartigen Fluorpolymerfilm der Seitenwandpassivierung 4 bedeckt. Weiterhin ist es auch möglich, zusätzliche Gase wie Stickstoff, Sauerstoff oder Argon beizumischen, um die Prozeßeigenschaften des Ätzprozesses zu beeinflussen. Um trotz der geringen Ionenenergie eine ausreichende Plasmadichte, d. h. eine ausreichend hohe Konzentration chemisch reaktiver Ionen zu gewährleisten, sollte die Plasmaätzanlage über eine geeignete Quelle verfügen und beispielsweise eine Mikrowellen- oder Magnetronplasmaanregung aufweisen.

Nachdem die gewünschte Ätztiefe der Gräben 3 erreicht ist, kann das Fluor liefernde eigentliche Ätzgas abgestellt werden und nur noch das den teflonartigen Fluorpolymerfilm bildende Passiviergas zugeführt werden. Durch diesen

Prozeß kann die Dicke der Seitenwandpassivierung 4 erhöht werden. Dabei wird durch gleichzeitige Ioneneinwirkung dafür gesorgt, daß sich der Passivierfilm selektiv nur auf den Seitenwänden der Gräben 3 bildet und nicht auf dem Ätzgrund 5.

In der Fig. 3 werden die Gräben 3 nach einem weiteren Ätzschritt gezeigt. In diesem weiteren Ätzschritt wird das Siliziumsubstrat 1 ausschließlich mit dem Fluor liefernden Ätzgas bearbeitet. Die Energie des Plasmas wird dabei in der Größenordnung von nur wenigen Elektronenvolt gewählt, so daß die Ätzung nahezu perfekt isotrop erfolgt. Ausgehend von den freiliegenden Ätzgrund 5 der Gräben 3 bildet sich dann die Unterätzung 6, wie sie in der Fig. 3 gezeigt wird. Die Ionenergie wird dabei nicht exakt gleich null Elektronenvolt gesetzt, um zufällige mikroskopische Ablagerungen auf den Böden 5 während des isotropen Unterätzens noch entfernen zu können. Aufgrund der geringen Ionenergie verursachen zufällig auf die Seitenwand treffende Ionen kaum einen Angriff an der Seitenwandpassivierung 4 oder an der Ätzmaske 2. Wenn, wie in der Fig. 3 gezeigt wird, zwei Gräben 3 in unmittelbarer Nachbarschaft angeordnet sind, so kann durch die isotrope Unterätzung 6 ein Siliziumsteg 7, der zwischen den beiden Gräben 3 angeordnet ist, komplett vom Substrat 1 gelöst werden. Mit derartigen Strukturen lassen sich beispielsweise dünne Biegezungen oder Kammstrukturen realisieren, die als Beschleunigungssensoren genutzt werden können.

An dem in den Fig. 1 bis 3 gezeigten Prozeßablauf ist besonders vorteilhaft, daß alle Ätzprozesse in ein und derselben Plasmaanlage in einem Prozeß ohne Unterbrechung oder Ausschleusen des Wafers erfolgen können. Die angesprochenen Ätz- und Passiviergase können miteinander oder nacheinander in ein und derselben Ätzanlage angewendet werden. Weiterhin erlauben sie die Ausbildung von besonders schmalen und tiefen Gräben 3, die in einem weiteren Prozeßschritt unterätzt werden können. Es können so Strukturen erzeugt werden, die als Sensoren verwendbar sind.

In der Fig. 4 wird schematisch eine Plasmaätzanlage 11 gezeigt. In der Plasmaätzanlage 11 ist das Siliziumsubstrat 1 und ein weiteres Mittel 10 zur Plasmaerzeugung eingebracht. An das Substrat 1 kann eine hochfrequente Spannung angelegt werden, die die Energie, mit der Ionen auf das Substrat 1 auftreffen, bestimmt. Die weiteren Mittel zur Plasmaerzeugung 10 können als einfache Elektrode, Mikrowellengenerator, Magnetron oder jede andere Plasmaquelle 45 die eine hohe Plasmadichte erzeugt ausgebildet sein.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bearbeitung von Silizium, bei dem 50 ein Siliziumsubstrat (1) mit einer Ätzmaskierung (2) versehen wird und in eine Plasmaätzanlage eingebracht und mit einem Plasma beaufschlagt wird, wobei durch Bearbeitung mit einem Ätzgas und einem Passiviergas ein Graben (3) mit einer Seitenwandpassivierung (4) erzeugt wird, wobei in einem weiteren Bearbeitungsschritt ausgehend vom Ätzgrund (5) des Grabens (3), eine Unterätzung (6) eingebracht wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der weitere Bearbeitungsschritt in derselben Ätzanlage durch das Ätzgas erfolgt, daß für 60 das Ätzgas ein Fluor lieferndes Gas ausgewählt wird, daß als Passiviergas ein Fluorkohlenstoff oder Fluorkohlenwasserstoff lieferndes Gas ausgewählt wird, das eine aus einem Fluorpolymer bestehende Seitenwandpassivierung bildet, und daß die Plasmaenergie geringer als 50 Elektronenvolt gewählt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Einätzen der Unterätzung (6) durch

5 einen Abscheideschritt die Seitenwandpassivierung (4) verstärkt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zum Einbringen des Grabens (3) das Siliziumsubstrat (1) abwechselnd mit dem Ätz- und dem Passiviergas bearbeitet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zum Einbringen des Grabens (3) das Siliziumsubstrat (1) gleichzeitig mit einer Mischung des Ätz- und des Passiviergases bearbeitet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Plasmaenergie geringer als 10 Elektronenvolt gewählt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

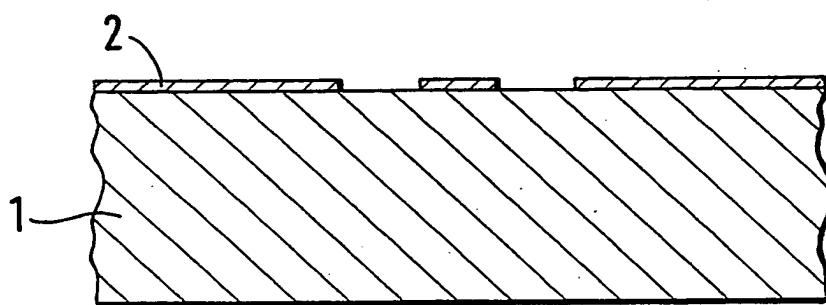


FIG. 1

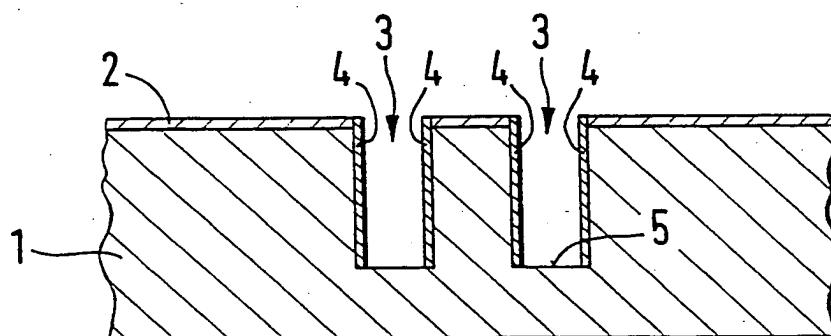


FIG. 2

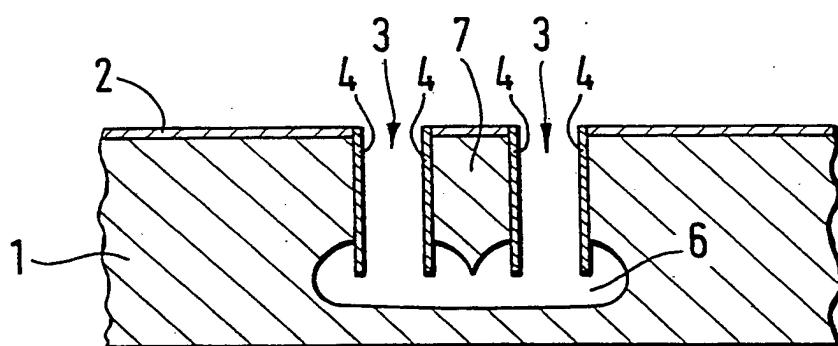


FIG. 3

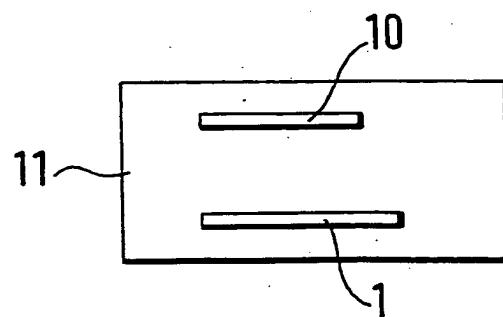


FIG. 4